

기하학적 형상 및 지형학적 특성을 중심으로 한 암반사면 안정성 평가항목의 유효성 평가

Effectiveness Estimation of Rock Slope Stability Evaluation Items for Geometrical Configuration and Topographical Characteristic

이 용 희[†] · 김 종 열¹⁾ · 이 진 수²⁾ · 강 권 수³⁾ · 김 낙 영⁴⁾

Lee, Yonghee · Kim, Jongryeol · Lee, Jinsoo · Kang, Kwonsoo · Kim, Nagyoung

ABSTRACT : In general, it has been usually used the method that assess rock slope stability using stereographic projection method, limit equilibrium analysis, numerical analysis and slope stability evaluation table. Several methods for assessing the stability of rock slopes has been proposed on the basis of site investigation data. These method adopted different evaluation items and weighting factors by researchers, organization and nation. But the researches for each evaluation items were insufficient. So the effectiveness of rock slope stability evaluation items for geometrical configuration (slope height, slope direction and angle, dip and dip direction of major discontinuity, absolute value for the direction difference for slope and major discontinuities) and topographical characteristic (possibility of topographical water concentration, upper natural slope angle, slope configuration) using 315 failure and stable highway rock slope analysis data, AV (abnormal value) analysis and NMAV (normalized maximum abnormal value) analysis were evaluated.

Keywords : Rock slope, Geometrical configuration, Topographical feature, Abnormal value

요 지 : 일반적으로 암반사면의 안정성을 평가하는 방법으로는 평사투영해석, 한계평형해석, 수치해석, 안정성 평가표에 의한 방법 등 여러 가지 방법이 이용되고 있다. 이 중 안정성 평가표에 의한 방법은 평가법의 제안기관이나 자국의 특성에 따라 그 평가항목이 상이하며, 또한 안정성 평가표상의 개개의 평가항목에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 315개소의 고속도로 암반사면 분석자료를 이용하여 일반적으로 사용되고 있는 암반사면의 안정성 평가항목중 기하학적 형상(사면높이, 사면경사 및 경사방향, 주불연속면의 경사 및 경사방향, 사면과 주불연속면의 방향차이) 및 지형학적 특성(지형의 집수가능성, 상부자연사면 경사, 사면형상)에 대한 이상치(abnormal value) 분석을 통하여 암반사면 안정성 평가항목의 유효성을 평가하였다.

주요어 : 암반사면, 기하학적 형상, 지형학적 특성, 이상치

1. 서 론

산업의 발달과 국토개발로 인해 전국토의 약 70%가 산지로 이루어진 우리나라는 국토의 균형적인 발전의 일환으로 고속도로, 철도, 택지개발 등이 이루어지고 있으며, 이로 인해 많은 수의 사면이 형성되고 동시에 인적·물적 피해를 발생시키는 사면붕괴가 상당 수 발생하고 있다. 현재 국내의 사면(급경사지)의 수는 대략 100만개로 추정(이수곤, 2007)되며, 최근 10년간 사면재난으로 인한 사망자수는 자연재난 전체 사망자수의 약 24.2%를 차지하고 있다(소방방재청, 2004).

이러한 사면의 붕괴를 최소화하기 위해서는 사면에 대한 정확한 상태평가가 선행된 후 적절한 대책이 수립되어

야 한다. 현재 주로 이용되는 사면의 안정성 평가방법으로는 평사투영해석, 한계평형해석, 수치해석, 안정성 평가표에 의한 방법(Romana, 1985; Mainalee 등, 1999; 최경, 1986; 유병옥, 1997; 한국건설기술연구원, 2003; 한국시설안전기술공단, 2003; 이창우, 2004; 정용복 등, 2007; 소방방재청, 2008), 유전자 알고리즘을 이용한 최적화기법(소방방재청, 1999) 등 많은 방법이 이용되고 있으나 안정성 평가자에 따라 그 이용방법을 달리하고 있다. 또한 사면의 안정성 평가는 전문가 그룹에 의하여 이루어지는 것이 최선의 방법이나 모든 사면을 전문가가 평가하고 관리하는 것은 한계가 있다. 이러한 단점을 해결하고 보다 효율적인 사면관리를 위하여 1차적으로 현장실무자가 암반사면의 안정성 평가표에 의한 위험도를 평가하고 이를 바탕으로 위험사

† 정희원, 한국전력공사 전력연구원 환경구조연구소 연구원, 공학박사(E-mail : dragon202@hanmail.net)

1) 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수, 공학박사

2) 정희원, 동신대학교 토목공학과 교수, 공학박사

3) 정희원, 서남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

4) 정희원, 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사

면을 선정하여 전문가에 의해 정밀조사를 실시하도록 하는 2단계 평가가 필요하다(정용복 등, 2007).

특히 안정성 평가표에 의한 암반사면의 안정성 평가법은 대부분 경험적인 방법으로서 안정성 평가표 제안자, 각 국가 및 기관의 특성에 따라 그 평가항목과 가중치를 달리 적용하고 있다(이용희 등, 2004; Lee 등, 2007). 현장기술자 등에 의해 1차적으로 수행되는 암반사면의 정확한 상태평가를 위해서는 객관적이면서 간단한 안정성 평가법이 필요하다. 그러나 대부분의 안정성 평가표에 사용되는 평가항목들은 입력데이터가 수치적으로 표현 가능한 정량적 자료(Quantitative Data)만으로는 모두 설명하기 어렵기 때문에 정량적 자료에 비하여 상대적으로 분석이 어려운 정성적 자료(Qualitative Data)를 사용해야 한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 본 논문에서는 그림 1에 나타낸 바와 같이 고속도로 암반사면 중 기 붕괴된 177개소의 사면 조사자료(도로교통연구원, 1996~2003)의 분석과 안정한 사면 138개소에 대한 현장조사를 실시하였다. 또한 여러 가지 안정성 평가표에서 공통적으로 선정된 평가항목을 기하학적 형상, 지형학적 특성, 지질학적 특성 및 기타의 4가지 범주로 구분하고 이중 암반사면의 기하학적 형상과 지형학적 특성에 따른 각각의 평가항목별 이상치(Abnormal Value)와 정규화된 최대이상치(Normalized Maximum Abnormal Value, 이하 NMAV) 분석을 통하여 각각의 안정성 평가항목이 암반사면의 안정성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 고속도로 사면 현황

현재 국내에서 운영중인 고속도로는 28개노선 총연장 3,368km에 달한다(한국도로공사, 2002). 표 1은 국내고속도로의 연장, 구간 및 절토사면의 수를 나타내고 있다. 절토사면의 수는 약 4,150여 개소로서 이 중 중앙고속도로의 절토사면수가 864개소로 가장 많고, 평균사면높이는 대전남부순환고속도로가 33.6m로 가장 높다. 사면연장에 있어서는 중앙고속도로가 580m/km로서 전체 연장 중 사면의 연장이 대략 30%정도를 차지하고 있다(이용희 등, 2004).

3. 안정성 평가항목 및 이상치

3.1 안정성 평가항목

본 연구에서 암반사면 안정성 평가항목의 선정은 여러 제안자들에 의하여 제안된 안정성 평가표상의 평가항목 중 공통적인 평가항목들을 중심으로 평가를 실시하였다. 그림 2는 일본 건설성(일본도로공단, 1986), 유병옥(1997),

표 1. 국내 고속도로현황(한국도로공사, 2002)

노선 번호	노 선 명	연장 (km)	구간	평균 사면고(m)	사면연장 (m/km)	절토 사면수
1	경부선	425.5	부산-서울	12.2	169	307
15	서해안선	340	목포-서울	16.7	397	525
25	호남선, 논산-천안선	195.81	순천-천안	12.7	374	243
251	호남선의 지선	54	논산-대전	17.4	334	69
35	중부선	286	통영-하남	18.9	494	601
37	제2중부선	31	이천-하남	21.5	220	33
45	중부내륙선	126	마산-양평	22.1	413	223
451	구마선	30	현풍-대구	21.9	146	18
55	중앙선	289	부산-춘천	20.5	580	864
551	중앙선의 지선	8.2	김해-양산	6.3	69	3
65	동해선	62	동해-속초	17.0	392	119
10	남해선	169	영암-부산	19.1	216	171
102	마산외곽선	16	함안-창원	17.8	440	35
104	남해제2지선	21	김해-부산	28.5	328	12
12	88올림픽선	183	무안-대구	15.4	342	332
16	울산선	14	울산-울산	9.7	208	16
20	익산-포항선	3	익산-포항	28.5	513	2
40	평택-충주선	25.8	평택-충주	14.3	567	71
50	영동선	234	인천-강릉	21.1	360	334
100	서울외곽순환선	91	판교-판교	25.1	272	109
110	제2경인선	27	인천-인양	21.5	398	39
120	경인선	23.9	인천-서울	15.0	51	4
130	인천국제공항선	40.2	인천-고양	-	-	-
300	대전남부순환선	13	대전-대전	33.6	450	24

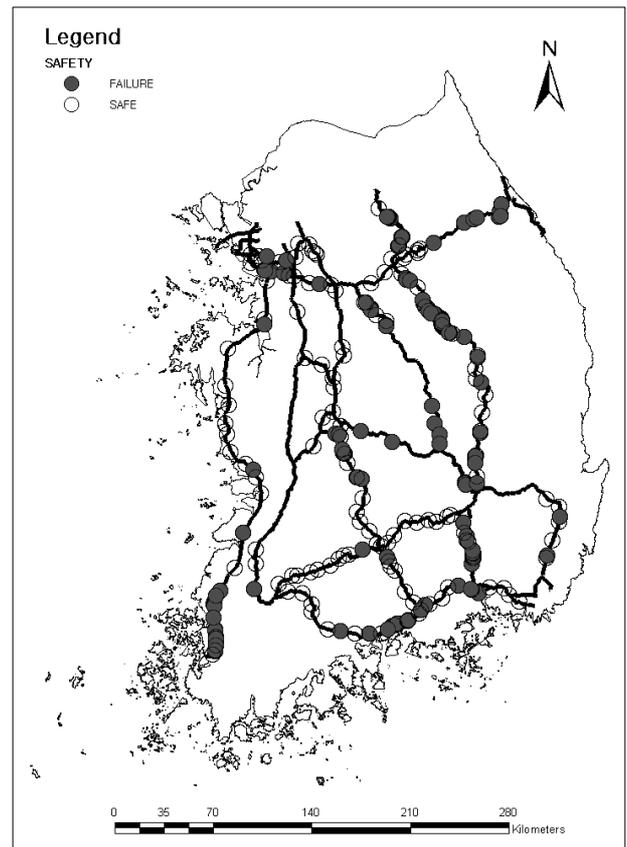
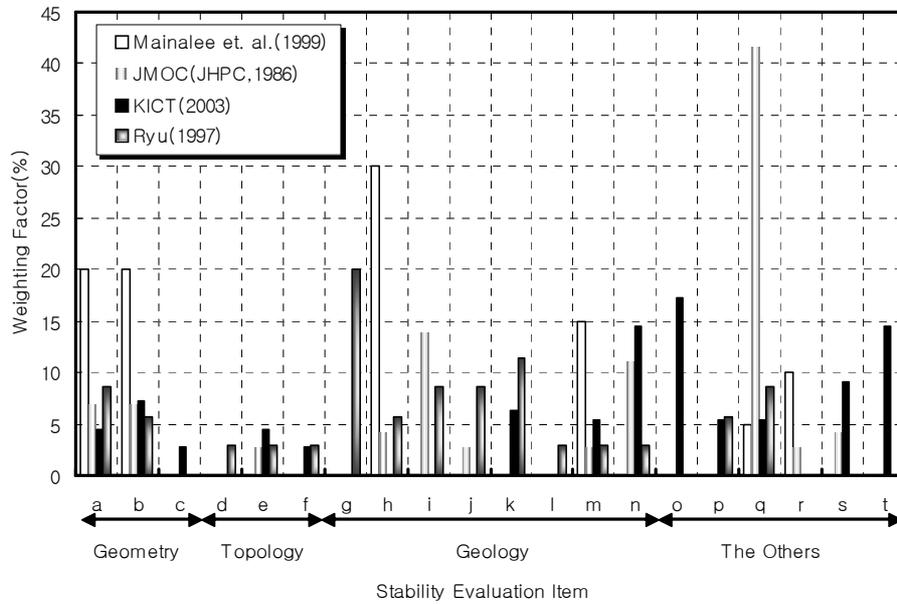


그림 1. 대상사면 위치도(Lee 등, 2007)



Description of Evaluation Factor
 a : slope height, b : slope angle, c : slope length, d : possibility of topographical water concentration, e : slope configuration, f : upper natural slope angle, g : dip and dip direction of the major discontinuities, h : rock classification or degree of weathering, i : type of rock, j : degree of fracturing, k : fault and filling, l : intact rock strength, m : condition of ground water, n : soil condition and depth of soil strata, o : rock mass rating, p : history of former failure, q : slope protection method, r : condition of vegetation, s : subjective judgment, t : stability analysis and the others

그림 2. 제안자에 따른 암반사면 안정성 평가항목별 가중치(Lee 등, 2007)

Mainalee 등(1999), 한국건설기술연구원(2003)에서 제안한 암반사면 안정성 평가법중 각 안정성 평가항목별 상대적 가중치를 나타낸 그림으로 안정성 평가표 제안자에 따라 안정성 평가항목과 가중치의 적용이 매우 상이함을 알 수 있다. 또한 이처럼 각기 다른 안정성 평가항목과 가중치를 적용한 안정성 평가표들에 의한 암반사면의 안정성 평가시 동일한 사면에 대한 안정성을 평가하더라도 그 결과가 상이하게 평가되는 경우가 발생되기도 한다(이용희, 2004). 따라서 안정성 평가표에 의한 방법은 평가항목의 선정에 대한 유효성과 적용에 있어서 타당성을 평가할 필요성이 있다.

Romana(1985)는 RMR(Rock Mass Rating)값에 사면과 절리면의 방향성 및 절리면의 경사각, 사면과 절리면의 경사각의 관계 및 굴착방법의 평가항목을 조합하여 암반사면의 안정성 평가방법을 제안하였으나 현장실무자가 이용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. Mainalee 등(1999)은 가장 단순한 형태의 평가표를 제안하였으며, 평가항목으로는 암종, 사면경사, 사면높이, 지하수 및 식생상태를 적용하고 있다. 일본 건설성의 사면안정성 평가법은 사면높이, 사면경사, 용수상황, 자연사면상황, 토질구분, 암종, 암분류, 균열상황, 식생상황 및 보호공을 그 평가항목으로 적용하고 있다(일본도로공단, 1986). 그리고 유병옥(1997)은 사면높이, 사면경사, 절리방향, 절리경사, 풍화정

도, 암석종류, 균열상태, 단층유무, 암석강도, 특수지질, 용수 유무, 토질조건, 절리상태, 집수지형, 사면형상, 상부경사, 붕괴 이력 및 사면보호공의 14가지 평가항목을 적용하여 안정성 평가표를 제안하였다. 또한 이외에도 최경(1986), 한국건설기술연구원(2003), 한국시설안전기술공단(2003), 이창우(2004), 정용복 등(2007), 소방방재청(2008) 등에서도 각 기관별 실정에 맞게 낙석이나 산사태, 사면종류 등에 따라 평가표를 달리하거나 평가항목과 가중치를 달리 적용하고 있다.

암반사면에 대한 평가표상의 안정성 평가항목은 그림 2에 나타낸 바와 같이 크게 나누어 사면의 기하학적 형상, 지형학적 특성, 지질학적 특성 및 기타의 4가지 범주로 분류하고, 이 중 사면의 기하학적 형상에 해당하는 사면높이, 사면경사 및 방향, 주불연속면의 경사 및 경사방향, 주불연속면과 사면의 방향차이의 4가지 평가항목과 지형학적 특성에 속하는 지형의 집수가능성, 상부자연사면의 경사 및 사면형상의 3가지 평가항목을 선정하여 붕괴된 사면과 안정한 사면의 분포백분율과 이상치(Abnormal Value) 분석을 실시하고 최종적으로 NMAV 분석을 실시하여 암반사면 안정성 평가항목의 유효성을 평가하였다.

3.2 이상치(Abnormal Value)

일반적으로 지반구조물의 안정성 평가시 흔히 이용하는

한계평형해석이나 수치해석 등에서는 그 입력데이터가 수치적으로 표현이 가능하고 연속적 형태를 띠기 때문에 평균의 의미가 있는 정량적 자료를 활용하여 안정성이나 거동특성을 분석하고 있다. 반면에, 암반사면의 안정성 평가표에 의한 방법은 사면높이 등과 같은 정량적 자료도 평가항목으로 이용하지만 암중 등과 같은 정성적 자료도 중요한 평가항목으로 활용중에 있다. 그러나 기존의 평가방법 중 일부에서는 정성적 자료를 분석함에 있어서 주로 개인의 경험에 크게 의존하여 분석을 실시하였으나, 본 논문에서는 암반사면의 기하학적 형상과 지형학적 특성에 대한 붕괴특성을 정량적으로 분석함과 동시에 정성적으로도 분석이 가능하도록 이상치(Abnormal Value)를 정의하고 분석을 실시하였다. 이상치의 정의는 식 (1)에 나타낸 바와 같이 붕괴된 사면의 백분율과 안정한 사면의 백분율의 차이로서 이 값의 절대값이 클수록 붕괴된 사면과 안정한 사면을 잘 구분할 수 있는 항목으로 판단할 수 있다.

$$AV(\text{Abnormal Value}) = \text{Failure Slope}(\%) - \text{Stable Slope}(\%) \quad (1)$$

그러나 이러한 이상치는 한 개의 평가항목에 대한 차이를 평가하는데 유용하지만 다른 평가항목과 비교시에는 각 평가항목별 분류기준의 수가 다르므로 다른 평가항목과 절대적 수치로 비교하는 것이 어렵다. 따라서 안정성 평가항목별 최대 이상치를 정규화하기 위하여 아래 식 (2)와 같이 최대이상치의 절대값에 평가항목별 분류기준의 수를 곱한 다음 10으로 나눈 값을 정규화된 최대 이상치(NMAV, Normalized Maximum Abnormal Value)로 정의하였다(이용희, 2004).

$$NMAV = \frac{|Max.AV| \times \text{Number of Classification}}{10} \quad (2)$$

4. 붕괴특성평가 및 이상치분석

4.1 기하학적 형상에 따른 붕괴특성평가

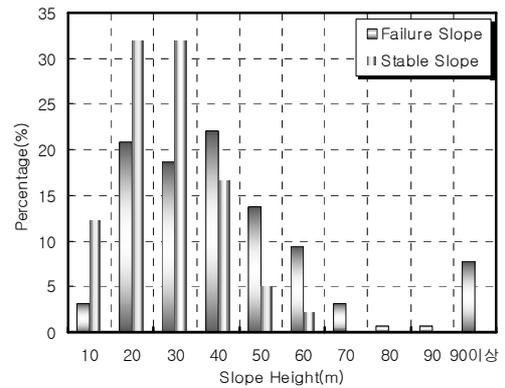
4.1.1 사면높이

사면높이는 많은 연구자들이 평가항목으로 선정하여 적용한 항목으로 매우 중요한 항목중의 하나이며, 국토해양부(2006)의 비탈면 설계기준에서는 사면높이가 20m 이상인 경우에는 안정해석을 실시하도록 규정하고 있다. 그림 3은 국내 고속도로에 대한 사면높이별 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율과 이상치를 나타낸 그림으로 사면높이가 30m까지는 안정한 사면의 백분율이 높은 것으로 나타났다지만 30m이상의 구간에서는 이상치가 역전되는 것으

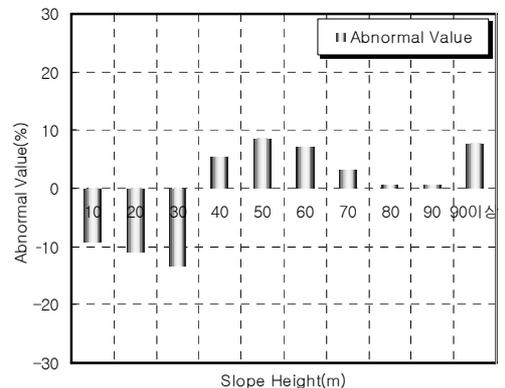
로 나타났다. 이는 일반적으로 사면 높이가 증가하면 대기 중 노출면적이 증가하므로 불연속면이나 연약대를 포함할 확률이 높아지고, 자중 증가와 시간이 경과함에 따라 사면의 풍화가 진행되므로 전단응력은 증가하고 전단강도는 감소되는 현상이 발생할 확률이 높아지기 때문인 것으로 판단된다.

4.1.2 사면방향 및 경사

암반사면의 경사는 거의 모든 안정성 평가표 제안자들이 중요한 안정성 평가항목으로 선정하여 비교적 큰 가중치를 적용하고 있으며(이용희 등, 2004), 절토 비탈면의 표준경사는 국토해양부 도로설계기준, 국토해양부 산하 한국도로공사, 한국토지공사, 대한주택공사 등에서 각 기관별 자체 설계기준을 보유하고 있으나 암반 사면의 경우 최근 빈번한 붕괴발생으로 그 경사가 점차 완화되고 있다(황영철 등, 2007). 그림 4는 사면경사에 따른 국내 고속도로의 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율과 이상치를 나타낸 그림으로 실제 고속도로 암반사면 중 사면경사가 30° 이하인 경우는 거의 없기 때문에 사면경사 30°까지는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, 30~60°까지는 안정한 사면의 백분율이 높게 나타나다가 60~70°의 경사에서 붕괴된

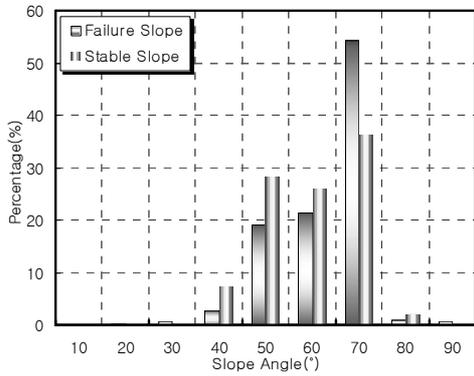


(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율

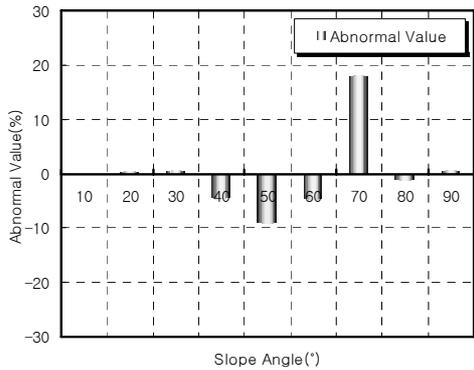


(b) 사면높이에 대한 이상치

그림 3. 사면높이에 대한 분석결과



(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율



(b) 사면경사에 대한 이상치

그림 4. 사면경사에 대한 이상치 분석 결과

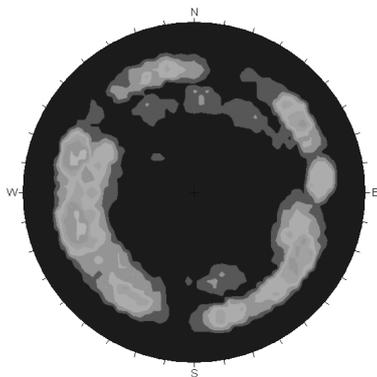


그림 5. 사면방향 및 경사의 평사투영결과(붕괴된 사면)

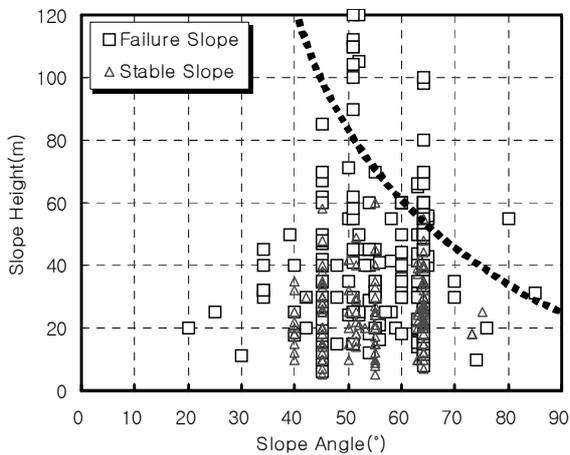


그림 6. 사면높이와 경사

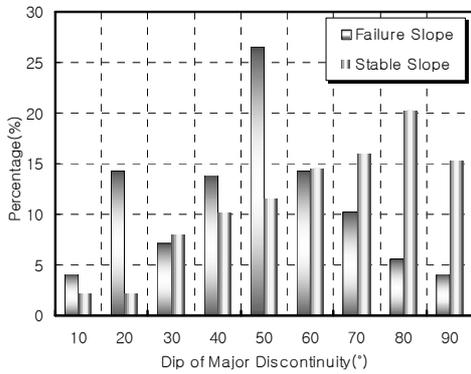
사면의 백분율이 약 18% 정도 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현재 고속도로 암반사면 최대경사가 약 1:0.5(V:H) 정도인 점을 감안하면 사면경사각이 클수록 붕괴확률이 높아지는 것으로 판단된다. 그림 5는 붕괴된 사면전체에 대한 사면경사 및 방향에 대한 평사투영결과를 나타낸 그림으로 뚜렷한 방향성이 없는 도넛형태를 띄고 있으나, 사면 주향이 남북방향으로 약간 우세한 것으로 나타났으며, 이는 현재까지 고속도로의 주요방향이 남북방향인 점과 관계가 있는 것으로 판단된다. 또한 사면 경사는 대부분 40~70° 사이의 밴드형태를 띄고 있다.

그림 6은 사면 높이와 경사에 따른 안정성 관계를 나타낸 그림으로 사면의 높이가 높을수록 사면의 경사가 급할수록 붕괴빈도가 높은 것으로 나타났다. 그림에서 점선으로 표시한 부분은 안정한 사면과 붕괴된 사면을 사면경사와 사면높이를 축으로 하여 표시한 결과를 나타낸 그림으로서 점선은 일반적인 고속도로 암반 사면에서 붕괴가 발생하지 않는 한계를 의미하며, 종합적인 안정성 평가를 통하여 사면붕괴가 유발될 가능성이 없는 경우에 한하여 적용이 가능할 것으로 판단된다.

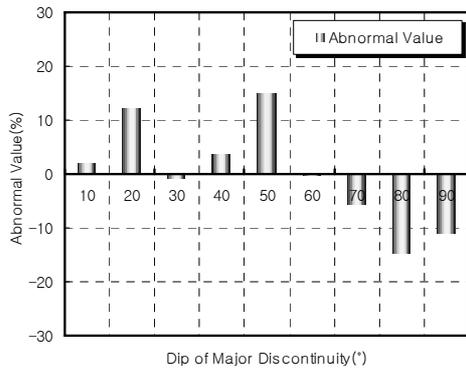
4.1.3 주불연속면의 경사 및 경사방향

암반 사면에서 어떤 경우에는 급경사의 높은 사면이 안정하지만 또 어떤 사면에서는 완만하고 낮은 사면에서 붕괴가 발생하기도 한다. 이러한 붕괴발생의 중요한 원인 중 하나는 단층, 절리, 층리, 엽리 등 주요한 불연속면의 경사이며, 그것에 따라 암반사면 안정성이 좌우되는 경우가 많다. 특히 퇴적암에서 가장 많이 발생하는 붕괴유형은 평면파괴로서 불연속면 사이에 미고결 점토층의 충전, 층리면 및 단층과쇄대 등의 원인으로 발생(유병옥, 1997)하는 것으로 알려져 있다.

그림 7은 주불연속면에 대하여 안정한 사면과 붕괴된 사면의 백분율과 이상치를 나타낸 그림으로 10~50°의 불연속면경사를 갖는 구간에서 붕괴가 상대적으로 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그림에 나타난 바와 같이 약 20% 정도의 사면붕괴는 평면파괴의 기하학적 조건인 파괴면의 경사각이 사면의 경사각보다 작아야 함에도 불구하고 현재 도로공사 설계기준상의 암반사면 최대경사인 1:0.5(V:H)보다 급경사인 주절리면 경사가 70°이상인 경우에 발생하고 있다. 이는 본 연구에서 평면파괴를 제외한 썩기파괴 등 기타의 사면붕괴형태를 고려하지 않았기 때문으로 판단된다. 그림 8은 붕괴된 사면에 대한 주절리면의 경사와 경사방향을 평사투영한 결과를 나타내며, 전체적으로 특별한 방향성은 찾기 어려우나 경상분지 퇴적암의 층리면을 따라 발생하는 활동으로 인하여 60~170°의 경사방향의 붕괴가 빈번하게 발생하는 것으로 나타났



(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율



(b) 주불연속면 경사에 대한 이상치

그림 7. 주불연속면 경사에 대한 이상치 분석 결과

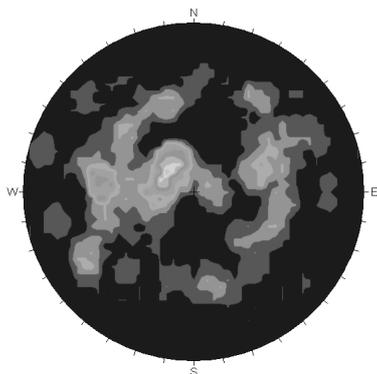


그림 8. 주불연속면의 경사 및 경사방향(붕괴된 사면)

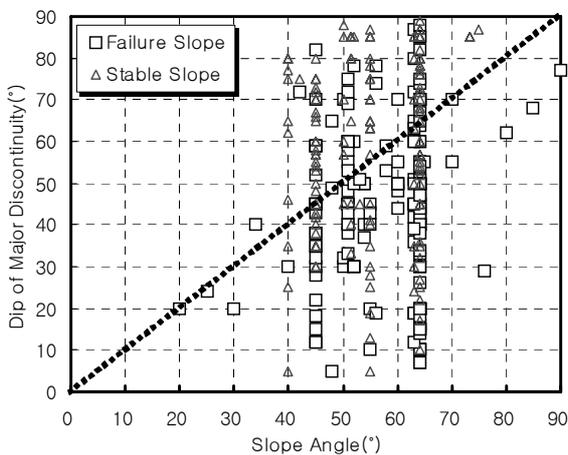


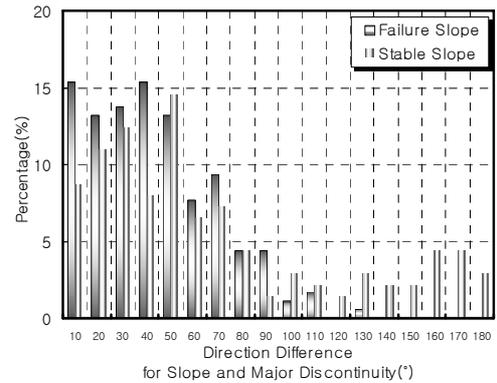
그림 9. 사면경사와 주불연속면의 경사

다. 이는 경상분지에 속하는 중앙고속도로의 방향이 남북 방향으로 놓여 있고 층리면의 주향이 이와 유사하게 발달 되어 있기 때문으로 판단된다.

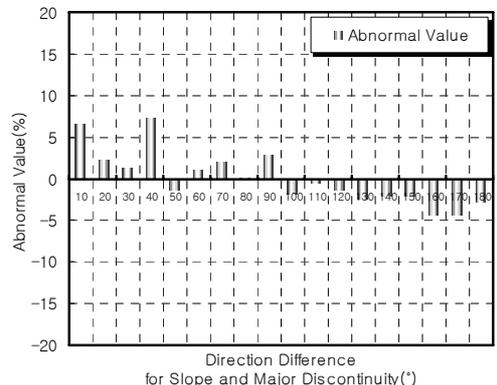
그림 9는 붕괴된 사면과 안정한 사면에 대한 사면경사와 주불연속면 경사의 관계를 분석한 결과를 나타낸 그림으로 안정한 사면중 약 59%는 주불연속면 경사가 사면경사보다 더 큰 것으로 나타난 반면에, 붕괴된 사면중 약 21%만이 주 불연속면 경사가 사면경사보다 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내 암반사면의 붕괴중 약 68%정도가 평면파괴(유병옥, 1997)인 점과 관계가 깊은 것으로 판단된다.

4.1.4 주불연속면과 사면의 방향차이

고속도로상에서 발생하는 암반사면 붕괴유형중 낙석과 토층유실을 제외한 약 68%정도가 평면파괴이며(유병옥, 1997), 평면파괴가 발생하기 위한 기본 조건으로서 미끄러 짐이 일어나는 면이 반드시 경사면에 평행하거나 거의 평행한 주향($\pm 20^\circ$ 이내)을 가져야 한다(Hoek 등, 1981). 이는 동일한 조건인 경우 주불연속면과 사면의 방향차이가 작은 경우 더 큰 활동력을 발휘하기 때문이지만, 국내의 경우 평면파괴중 약 35% 정도가 $\pm 20^\circ$ 이상의 방향차이에서 발생하는 것으로 보고된 바 있다(유병옥, 1997). 따라서 주



(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율



(b) 주불연속면과 사면의 방향차이에 대한 이상치

그림 10. 주불연속면과 사면의 방향차이에 대한 이상치 분석 결과

불연속면과 사면의 방향차이는 국내 고속도로 암반사면의 안정성 평가항목중 주요한 검토대상중 하나이며, 그림 10은 주불연속면과 사면의 방향차이에 따른 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율을 나타낸 결과로서 주불연속면과 사면의 방향차이가 증가함에 따라 전체적으로 안정한 사면의 백분율이 높아짐을 알 수 있으며, 상기에 언급한 바와 같이 암반사면의 붕괴형태를 고려하지 않았기 때문에 기존의 연구결과보다 더 큰 방향차이에서도 붕괴백분율이 높게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

4.2 지형학적 특성에 따른 붕괴특성평가

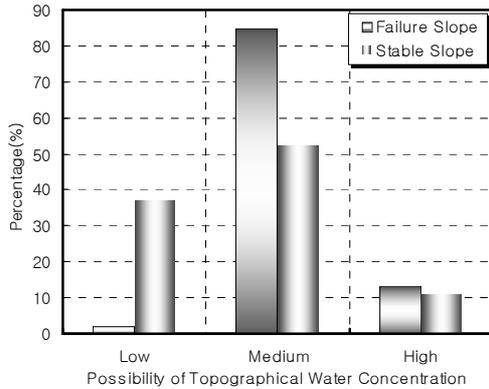
4.2.1 지형의 집수가능성

사면붕괴는 지표수와 침투수, 표토를 포함한 지반의 성질과 형상에 따라서 발생되며(신희순 등, 2002), 사면의 붕괴가능성을 증가시키는 지형적 요인은 주로 용수가 많은 사면이나 사면정상부의 평탄면 즉, 표토 및 풍화층이 두터워 물이 집중되기 쉽고 표토층이 붕괴되기 쉬운 지형 그리고 사면내의 평탄면이 존재하는 경우에는 침투수가 정체하여 사면붕괴의 가능성이 높아지게 된다. 본 연구에서는 이러한 지형의 집수가능성에 대하여 낮음, 보통, 높음의 3단계로 구분하였으며, 그 판단기준은 사면내에 계곡부가

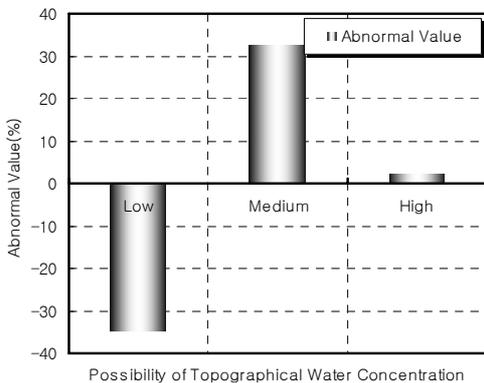
존재하는 경우에는 집수가능성이 높음, 편평한 완경사의 산등성이를 따라 사면이 시공되어 계곡부와 표고차가 크지 않은 경우에는 보통, 급경사의 산등성이와 연결되어 사면이 시공되어 계곡부와 표고차가 커서 사면내 지하수 또는 강우의 집수 가능성이 낮은 경우에는 낮음으로 구분하여 조사를 실시한 결과 안정한 사면의 경우에는 집수가능성이 대체적으로 낮거나 보통인 경우가 많은 것으로 나타났다(그림 11). 이는 지형의 집수가능성이 높은 사면의 경우 물의 침투로 인한 침식과 풍화가 보다 빠르게 진행되기 때문으로 판단된다.

4.2.2 상부자연사면 경사

상부자연사면 경사는 한국건설기술연구원(2003)과 유병욱(1997) 등의 사면안정성 평가표상에서 상부자연사면 경사가 상향, 평탄, 하향의 순으로 불안정 점수를 가중 적용하고 있다. 상부자연사면 경사가 증가하면 단면적이 증가하게 되고 건기시와 우기시의 사면안전률이 감소하며(이정엽, 2004), 이는 그림 12에 나타낸 바와 같이 상부자연사면 경사가 상향인 경우 붕괴된 사면의 백분율이 증가하는 것과 동일한 결과이다. 결과적으로 단면적의 증가는 자중의 증가로 인한 활동력의 증가와 관계가 있는 것으로 판단된다.

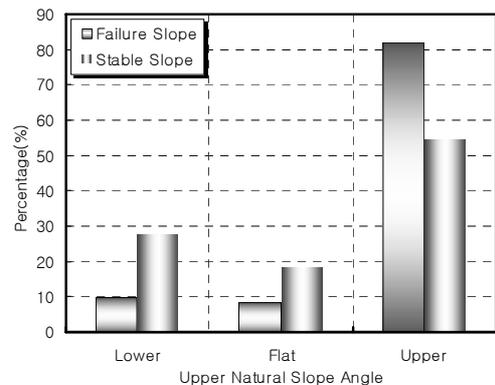


(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율

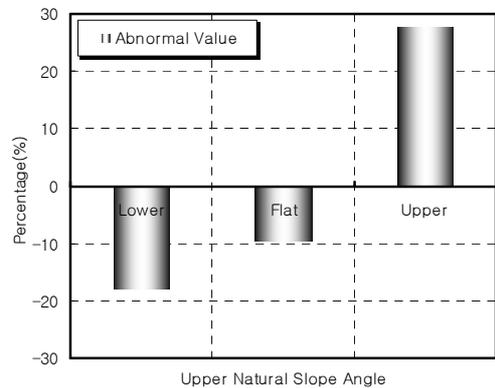


(b) 지형의 집수가능성에 대한 이상치

그림 11. 지형의 집수가능성에 대한 이상치 분석 결과



(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율



(b) 상부자연사면 경사에 대한 이상치

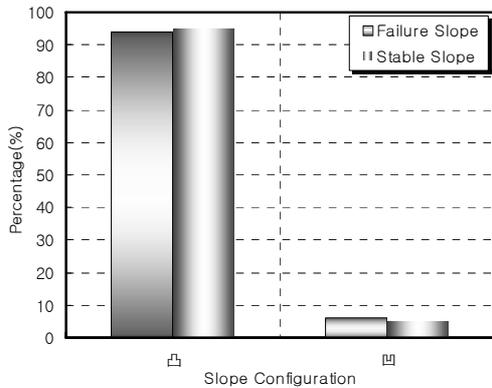
그림 12. 상부자연사면 경사에 대한 이상치 분석 결과

4.2.3 사면형상

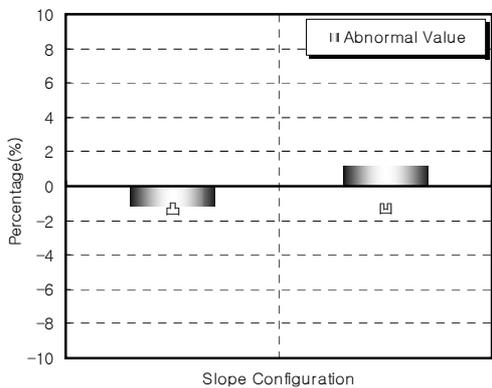
사면형상 또한 한국건설기술연구원(2003), 유병옥(1997) 등의 방법에 의한 안정성 평가시 평가항목으로 포함되어 있으며, 사면형상이 凹형인 경우 불안정측의 점수를 할당하고 있다. 주로 사면형상이 凹형인 경우 주로 골짜기를 형성하는 부분에서 유로가 형성되거나 풍화심도가 인접지반에 비해 상대적으로 깊게 형성되는 경우가 많으므로 이로 인하여 사면이 붕괴되는 경우가 많기 때문으로 생각된다. 그러나 실제적으로 사면형상에 따른 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율과 이상치를 분석한 결과 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며(그림 13), 이는 국내의 사면 대다수가 凸형이므로 붕괴된 사면과 안정한 사면을 구분하는 지표로서는 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

4.3 정규화된 최대이상치의 분석

암반사면의 기하학적 형상(사면높이, 사면방향 및 경사, 주불연속면의 경사 및 경사방향, 주불연속면과 사면의 방향차이)과 지형학적 특성(지형의 집수가능성, 상부자연사면경사, 사면형상)에 대한 NMAV(Normalized Maximum Abnormal Value) 분석을 실시한 결과는 그림 14와 같다.



(a) 붕괴된 사면과 안정한 사면의 백분율



(b) 사면형상에 대한 이상치

그림 13. 사면형상에 대한 이상치 분석 결과

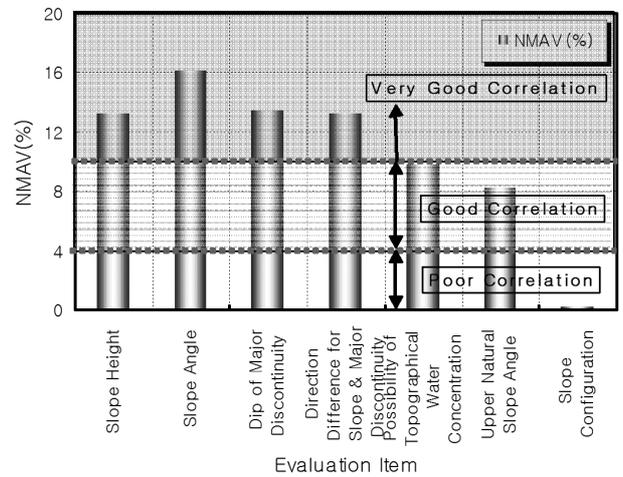


그림 14. 평가항목별 NMAV값

식 (2)에 정의된 바와 같이 NMAV는 최대이상치의 절대값에 평가항목별 분류기준의 수를 곱한 값을 분류기준의 수를 10으로 기준하여 나눈 값이므로 NMAV가 클수록 붕괴된 사면과 안정한 사면을 잘 구분할 수가 있으며, 분석 결과 일반적으로 잘 알려진 바와 같이 사면경사의 NMAV가 약 16% 정도로 가장 큰 값을 보이고 있으며, 이외에도 사면높이, 주불연속면의 경사, 사면과 주불연속면의 방향차이가 10% 이상의 값을 보여 매우 좋은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그리고 지형의 집수가능성과 상부자연사면의 경사는 약 8~10%의 값을 보여 비교적 양호한 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 그러나 사면형상의 경우 NMAV가 약 0.2% 정도로서 붕괴된 사면과 안정한 사면을 잘 구분해내지 못하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

고속도로 암반사면에 대한 177개소의 붕괴사면과 138개소의 안정한 사면에 대한 조사를 실시하여 여러 가지 안정성 평가표에서 공통적으로 선정된 항목에 대하여 기하학적 형상, 지형학적 특성, 지질학적 특성 및 기타의 4가지 범주로 대분류하고 이중 암반사면의 기하학적 형상과 지형학적 특성에 대한 각각의 평가항목별 이상치(Abnormal Value)분석을 실시하여 붕괴특성을 고찰하였다. 사면의 기하학적 형상에 속하는 안정성 평가항목으로 사면높이, 사면방향 및 경사, 주불연속면의 경사 및 경사방향, 주불연속면과 사면의 방향차이의 4가지 평가항목을 선정하였으며, 사면의 지형학적 특성에 속하는 안정성 평가항목은 지형의 집수가능성, 상부자연사면 경사, 사면형상의 3가지 평가항목을 선정하여 검토를 실시하였다.

- (1) 암반사면의 안정성 평가표에 의한 방법은 정량적 자료 (Quantitative Data)와 정성적 자료(Qualitative Data)가 혼재되어 있어 안정성 평가표의 제안시 평가항목의 선정이나 가중치의 적용이 제안자나 기관의 경험에 크게 의존하여 왔으나, 정성적 자료와 정량적 자료 모두에 대한 분석이 가능하도록 각 평가항목에 대한 NMAV (Normalized Maximum Abnormal Value) 분석을 실시 하였으며, 상대적으로 객관적인 평가항목의 선정과 가중치를 적용함에 있어 유용한 판단기준으로 사용될 수 있는 것으로 나타났다.
- (2) NMAV(Normalized Maximum Abnormal Value) 분석 결과 사면경사의 NMAV가 약 16%정도로 가장 크게 나타났으며, 사면높이, 주불연속면의 경사, 사면과 주 불연속면의 방향차이가 약 13% 정도의 값을 보여 붕괴된 사면과 안정한 사면을 잘 구분할 수 있는 매우 좋은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 지형의 집수 가능성과 상부자연사면의 경사는 NMAV가 약 8~10%의 값을 보여 비교적 양호한 상관관계가 있는 것으로 나타났지만 사면형상의 경우 NMAV가 약 0.2%정도로 서 붕괴된 사면과 안정한 사면을 잘 구분해내지 못하는 항목으로 평가되었다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부(2006), *비탈면 설계기준*, 국토해양부, pp. 118~119.
2. 도로교통연구원(1996-2003), *현장기술자문 검토서(사면분야)*, 한국도로공사.
3. 소방방재청(1999), *사면위험지대 평가방법 연구 - 경북지역 현장사례를 중심으로* NIDP-99-08, 소방방재청, pp. 193~205.
4. 소방방재청(2004), *사면붕괴방지 및 관측에 관한 연구(I) - 현장조사 및 국내외 사례를 중심으로*, 11-1660030-000016-10, pp. 5~17.
5. 소방방재청(2008), *급경사지 재해예방에 관한 법률 시행령·시행규칙 제정(안)*, 소방방재청
6. 신희순, 선우춘, 이두화(2002), *토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류*, 구미서관, pp. 117~121.
7. 유병옥(1997), *암반절취면의 안정성평가 및 대책에 관한 연구*, 박사학위논문, 한양대학교, pp. 114~169.
8. 이수곤(2007), *Expert's View, Disaster Focus*, 2007년 10월호, (주)재난포커스, pp. 40~41.
9. 이용희(2004), *고속도로 암반사면의 안정성 평가 및 공간정보 모델링을 이용한 위험도 작성*, 박사학위논문, 전남대학교, pp. 60~185.
10. 이용희, 김종열(2004), 로지스틱 회귀분석을 통한 암반사면의 안정성 평가법 제안, *터널과 지하공간* 제14권 제2호, 한국암반공학회, pp. 133~141.
11. 이정엽, 김진환, 이종현, 구호본(2004), 상부자연사면 경사에 따른 토사사면의 안정성 평가에 관한 연구, *한국지반공학회 2004년 봄학술발표회 논문집*, 한국지반공학회, pp. 580~585.
12. 이창우(2004), 암반절개사면의 붕괴위험도 판정, *한국임학회지* 93(1), 한국임학회, pp. 95~102.
13. 한국도로공사(2002), *고속도로 안내도 좋은 길 좋은 삶*, 한국도로공사, p. 107.
14. 정용복, 송원경, 선우춘, 이병주(2007), 현장실무자용 암반사면 위험도평가법 개발, *터널과 지하공간* 제17권 제4호, 한국암반공학회, pp. 322~331.
15. 최경(1986), *한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구*, 박사학위논문, 한양대학교, pp. 1~45.
16. 한국건설기술연구원(2003), *2002년도 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용*, 건기연2003-006, 건설교통부, pp. 119~149.
17. 한국시설안전기술공단(2003), *안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(절토사면)*, 한국시설안전기술공단, pp. 53~66.
18. 황영철, 이홍성(2007), 국내 절토 비탈면 설계기준의 해석적 평가, *한국지반환경공학회 논문집* 제8권 제3호, 한국지반환경공학회, pp. 51~57.
19. 日本道路公團(1986), *道路土工のり面工・斜面安定工指針*, 社團法人 日本道路協會, pp. 6~32, 423~434.
20. Hoek, E., Bray, J.(1981), *Rock Slope Engineering*, The Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 150~198.
21. Lee, Y. H., Kim, J. R., Kim, D., Kang, H. B.(2007), New Approach for Estimating Rock Slope Stability Using Logistic Regression Analysis, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, No.2016, pp. 99~109.
22. Mainalee, B. P., Fujimura, H., Morishima, N.(1999), Preliminary landslide hazard mapping along a hill road in western Nepal, *Proc. Int. Symp. on Slope Stability Engineering* Vol. 2., pp. 1287~1290.
23. Romana M.(1985), New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, *Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics*, Zactecas, pp. 49~53.

(접수일: 2008. 5. 30 심사일: 2008. 6. 19 심사완료일: 2008. 7. 16)